



21 Aktenzeichen: 101 12 588.7-35
22 Anmeldetag: 15. 3. 2001
43 Offenlegungstag: -
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 2. 5. 2002

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

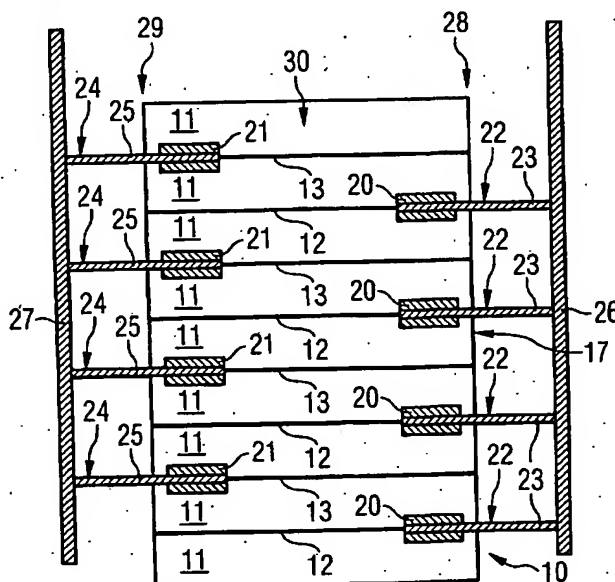
72 Erfinder:
Boedinger, Hermann, 81243 München, DE; Schuh,
Carsten, Dr., 85598 Baldham, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 199 45 933 C1
DE 196 46 676 C1
US 50 87 848

54 Piezoaktor sowie Verfahren zur Herstellung eines Piezoaktors

57 Es wird ein Piezoaktor (10) in Vielschichtbauweise sowie ein Verfahren zur Herstellung eines Piezoaktors (10) beschrieben, bei dem alternierend piezoelektrischen Keramikschichten (11) und Elektrodenschichten (12, 13) zur Bildung eines Stapels (17) übereinander angeordnet sind, bei dem die Elektrodenschichten (12, 13) zur elektrischen Kontaktierung in alternierender Polarität jeweils mit zumindest einer seitlich am Stapel (17) aufgebracht Metallisierung (20, 21) verbunden sind, wobei die Metallisierungen (20, 21) wiederum elektrisch leitend über entsprechende Verbindungsmittel mit Weiterkontaktierungen (22, 24), die mit einem freien Endabschnitt (23, 25) über den Stapel (17) hinausragen, verbunden sind. Weiterhin erstrecken sich die Elektrodenschichten (12, 13) isolationszonenfrei über den gesamten Stapelquerschnitt bis zu jeder seitlichen Oberfläche des Stapels (17), wobei dort für jede Elektrodenschicht (12, 13) separat eine Metallisierung (20, 21) aufgebracht ist. Um die isolationszonenfreie Kontaktierung zu optimieren, ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß jede Metallisierung (20, 21) im Vergleich zu der ihr zugeordneten Elektrodenschicht (12, 13) kurz ausgebildet ist, so daß nur ein Teilbereich der Elektrodenschicht (12, 13) mit der Metallisierung (20, 21) verbunden ist, daß jede Metallisierung (20, 21) in einem Bereich des Stapels (17) vorgesehen ist, in dem der freie Endabschnitt (23, 25) der Weiterkontaktierung (22, 24) über den Stapel (17) hinausragt und daß ...



[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Piezoaktor gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 1 sowie ein Verfahren zum Herstellen eines Piezoaktors gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 9.

[0002] Piezoaktoren können als Vielschichtbauelemente mit einer Anzahl von jeweils alternierend angeordneten piezoelektrischen Keramikschichten und Elektrodenschichten ausgebildet sein und gewinnen in der modernen Elektrotechnik immer mehr an Bedeutung. Beispielsweise werden Piezoaktoren als Stellantriebe, in Verbindung mit Ventilen und dergleichen eingesetzt.

[0003] Ein bekannter Piezoaktor ist beispielsweise in der DE 196 46 676 C1 ausführlich beschrieben. Bei derartigen Piezokeramiken wird der Effekt ausgenutzt, daß diese sich unter einem mechanischen Druck, beziehungsweise Zug, aufladen und andererseits bei Anlegen einer elektrischen Spannung entlang der Hauptachse der Keramikschicht ausdehnen. Zur Vervielfachung der nutzbaren Längenausdehnung werden monolithische Vielschichtaktoren verwendet, die aus einem gesinterten Stapel dünner Folien aus Piezokeramik (beispielsweise Bleizirkonattitanat) mit eingelagerten metallischen Innenelektroden bestehen. Die Innenelektroden sind wechselseitig aus dem Stapel herausgeführt und über Außenelektroden elektrisch parallel geschaltet. Auf den beiden Kontaktseiten des bis zu circa 40 mm hohen Stapels ist hierzu jeweils eine streifen- oder bandförmige, durchgehende Außenmetallisierung (im weiteren Verlauf der Beschreibung werden solche Außenmetallisierungen als Metallisierung bezeichnet) aufgebracht, die mit allen Innenelektroden (die im weiteren Verlauf der Beschreibung als Elektrodenschichten bezeichnet werden) gleicher Polarität verbunden ist. Zwischen der Metallisierung und den elektrischen Anschlüssen wird häufig noch eine in vielen Formen ausführbare Weiterkontaktierung, beispielsweise ein Cu-kaschierter Kaptonfolienstreifen, aufgebracht. Legt man eine elektrische Spannung an die Außenkontaktierung, so dehnen sich die Piezofolien in Feldrichtung aus. Durch die mechanische Serienschaltung der einzelnen Piezofolien wird die Nenndehnung des gesamten Stapels schon bei relativ niedrigen elektrischen Spannungen erreicht.

[0004] Derartige Aktoren sind durch den mechanischen Hub einer erheblichen Belastung ausgesetzt. Von entscheidender Bedeutung für die Lebensdauer von Multilayeraktoren im dynamischen Betrieb ist, zur Erzielung hoher Zyklenzahlen und hoher Zuverlässigkeit, die elektrische Außenkontaktierung. Multilayeraktoren aktueller Bauform enthalten bis zu mehreren hundert Elektrodenschichten, die beispielsweise durch Siebdrucken einer Silber-Palladium-Paste und anschließendes Co-Firing mit den Keramikschichten erzeugt werden. Diese Elektrodenschichten müssen zuverlässig und dauerhaft mit dem externen elektrischen Anschluß verbunden werden.

[0005] Die aus der DE 196 46 676 C1 bekannte Kontaktierungslösung, die auch in Fig. 1 dargestellt ist, erfolgt durch Einbringung von Isolationszonen in den Aktor mittels eines speziellen Elektrodenlayouts. In diesen Isolationszonen können die Elektroden gleicher Polarität separat durch eine vertikale, streifenförmige Metallisierung miteinander verbunden werden. Diese Metallisierungsbahnen werden meistens noch mit einer Weiterkontaktierung, beispielsweise seitlich am Stapel überstehende Kontaktfahnen, und/oder weiteren Anschlußelementen versehen, um die Außenkontaktierung des Aktors zu vervollständigen.

[0006] In den piezoelektrisch inaktiven Isolationszonen, die bisher in den Multilayeraufbau eingebracht werden, entstehen bei Ansteuerung des Piezoaktors mechanische Span-

nungen, die besonders im dynamischen Betrieb zu Delaminationsrissen und im weiteren Verlauf zu Kontaktunterbrechungen führen. Eine sukzessive Verringerung der erreichten Auslenkung, beziehungsweise ein kompletter Ausfall des Aktors, ist die Folge. Die Ausführung der elektrischen Kontaktierung von piezokeramischen Vielschichtaktoren stellt somit ein entscheidendes Designkriterium zur Erzielung hoher Zuverlässigkeiten des gesamten Bauteils dar.

[0007] Um einen hinsichtlich der genannten Problematik verbesserten Piezoaktor zu schaffen, ist in dem von der Anmelderin eingereichten älteren, nicht veröffentlichten Patent 199 45 933 ein Piezoaktor in Vielschichtbauweise mit isolationszonenfreier elektrischer Kontaktierung sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung beschrieben. Bei diesem Piezoaktor erstrecken sich die einzelnen Elektrodenschichten isolationszonenfrei über den gesamten Stapelquerschnitt bis zu den seitlichen Oberflächen des Stapels. Dort ist für jede Elektrodenschicht separat eine horizontale, an der jeweiligen Elektrodenschicht mindestens über einen Teil des Stapelumfangs entlang laufende Metallisierung aufgebracht.

[0008] Durch ein solches Innenelektrodenlayout ohne inaktive Isolationszonen kann die Entstehung inhomogener mechanischer Spannungen im Aktor bereits weitestgehend verhindert werden. Die Möglichkeit zur separaten Kontaktierung jeder einzelnen Innenelektrode an der Aktoroberfläche wird durch horizontale, hinsichtlich elektrischer Überschlüsse ausreichend zueinander beanstandete Einzelmetallisierungen geschaffen.

[0009] Aus der US-A-5,087,848 ist eine weitere Lösung für einen Piezoaktor beschrieben, bei dem die einzelnen Elektrodenschichten jeweils einzeln über eine Weiterkontaktierung mit einem Anschlußelement verbunden sind, wobei dieses Anschlußelement Schlitze aufweist, in die die Weiterkontaktierungen eingesteckt und dort anschließend befestigt werden.

[0010] Ausgehend vom genannten Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zu Grunde, einen Piezoaktor sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung anzugeben, bei dem die isolationszonenfreie Kontaktierung weiter optimiert werden kann.

[0011] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch den Piezoaktor gemäß Patentanspruch 1 sowie das Verfahren zum Herstellen eines Piezoaktors gemäß Patentanspruch 9. Weitere Vorteile, Merkmale, Details, Aspekte und Effekte der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung sowie den Zeichnungen. Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Piezoaktor beschrieben sind, gelten selbstverständlich auch im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Herstellen eines Piezoaktors, und umgekehrt.

[0012] Gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung wird ein Piezoaktor in Vielschichtbauweise bereitgestellt, bei dem alternierend immer eine piezoelektrische Keramikschicht und eine Elektrodenschicht zur Bildung eines Stapels übereinander angeordnet ist, bei dem jeweils wenigstens eine erste Elektrodenschicht und wenigstens eine im Stapel darauffolgende, zur ersten Elektrodenschicht benachbarte zweite Elektrodenschicht zur elektrischen Kontaktierung in alternierender Polarität jeweils mit zumindest einer seitlich am Stapel aufgetragenen Metallisierung verbunden ist, wobei jede Metallisierung wiederum elektrisch leitend über wenigstens ein Verbindungsmittel mit einer Weiterkontaktierung, die mit einem freien Endabschnitt über den Stapel hinausragt, verbunden ist, bei dem sich jede Elektrodenschicht isolationszonenfrei über den gesamten Stapelquerschnitt bis zu jeder seitlichen Oberfläche des Stapels erstreckt und bei dem dort für jede Elektrodenschicht separat eine Metallisierung aufgebracht ist. Der Piezoaktor ist erfindungsgemäß

dadurch gekennzeichnet, daß jede Metallisierung im Vergleich zu der ihr zugeordneten Elektroden-schicht kurz ausgebildet ist, so daß nur ein Teilbereich der Elektroden-schicht mit der Metallisierung verbunden ist, daß jede Metallisierung in einem Bereich des Stapels vorgesehen ist, in dem der freie Endabschnitt der Weiterkontaktierung über den Stapel hinausragt und daß jede Metallisierung in bezug auf die ihr zugeordnete Elektroden-schicht zumindest im wesentlichen parallel zu dieser ausgerichtet ist.

[0013] Durch den erfindungsgemäßen Piezoaktor wird eine optimale, isolationszonenfreie Kontaktierungsmöglichkeit der einzelnen Elektroden-schichten geschaffen. Der erfindungsgemäße Piezoaktor geht dabei von dem in der DE 199 45 933.9 beschriebenen Piezoaktor aus, deren Offenbarungsgehalt insoweit in die Beschreibung der vorliegenden Erfindung miteinbezogen wird.

[0014] In Weiterbildung des in dem Patent 199 45 933 beschriebenen Piezoaktors weist der vorliegende erfindungsgemäße Piezoaktor gemäß einem Grundgedanken der Erfindung zunächst das Merkmal auf, daß jede Metallisierung im Vergleich zu der ihr zugeordneten Elektroden-schicht kurz ausgebildet ist, so daß nur ein Teilbereich der Elektroden-schicht mit der Metallisierung verbunden ist. Auf diese Weise kann verhindert werden, daß in der Praxis nicht selten auftretende Parallelitätsabweichungen der einzelnen Strukturen zueinander nicht zum elektrischen Versagen des Bauteils führen können.

[0015] Gemäß einem weiteren Grundgedanken der Erfindung ist vorgesehen, daß jede Metallisierung in einem Bereich des Stapels vorgesehen ist, in dem der freie Endabschnitt der Weiterkontaktierung über den Stapel hinausragt. Das bedeutet, daß die Gefahr von Kurzschlußbrücken zwischen dem freien Endabschnitt der Weiterkontaktierung und der Oberfläche des Piezoaktors gering gehalten werden kann, da sich die Weiterkontaktierung nur über einen kurzen Bereich auf der Aktoroberfläche befindet.

[0016] Gemäß einem weiteren Grundgedanken ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß jede Metallisierung in bezug auf die ihr zugeordnete Elektroden-schicht zumindest im wesentlichen parallel zu dieser ausgerichtet ist. Dadurch kann der Anforderung an eine Einzelkontaktierung von Elektroden-schichten Rechnung getragen werden, daß nämlich die aufgetragenen Metallisierungen exakt parallel und mittig über der Elektroden-schicht geführt werden müssen, um Kurzschlüsse zu den benachbarten, entgegengesetzt geladenen Elektroden-schichten zu vermeiden. Gleiches gilt selbstverständlich ebenso für die Aufbringung der Weiterkontaktierung auf der Metallisierung.

[0017] Die Zuverlässigkeit der Verbindung der Weiterkontaktierung mit der jeweiligen Metallisierung bleibt durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung des Piezoaktors unbeeinträchtigt, da die bei Auslenkung des Aktors auftretende Biegung der Weiterkontaktierung zu Zug- und Scherspannungen vor allem im Einmündungsbereich der Weiterkontaktierung in das Verbindungsmittel zwischen Weiterkontaktierung und Metallisierung führt. Die gleichzeitig bei Auslenkung des Aktors auftretende direkte Zugdehnung der Weiterkontaktierung dagegen ist sehr gering, so daß die dadurch in das Verbindungsmittel eingebrachten Zug- und Scherspannungen auch von kleinflächigen Kontaktierungspunkten sicher verkraftet werden können. Beispielsweise kann die Stromtragfähigkeit im Bereich des Verbindungsmittels, beispielsweise eine Ag-Ag-Pd-Kontaktstelle, bei einer Elektroden-schichtdicke um 3 µm ab einer Kontaktstellenlänge von 1 mm als ausreichend angesehen werden.

[0018] Vorteilhaft kann das Verbindungsmittel gleich groß oder kleiner als die Metallisierung ausgebildet sein. Ähnlich wie im Zusammenhang mit der Metallisierung kann damit

in der Praxis auftretenden Parallelitätsabweichungen Rechnung getragen werden, die im schlimmsten Fall zum elektrischen Versagen des gesamten Piezoaktors führen könnten.

[0019] Die Erfindung ist nicht auf eine bestimmte Konfiguration des Piezoaktors beziehungsweise des Keramik-schicht-Elektroden-schicht-Stapels beschränkt. Vorteilhaft kann der Stapel jedoch eine eckige Konfiguration aufweisen. In diesem Fall kann beispielsweise jede Metallisierung im Bereich einer Seitenkante des Stapels vorgesehen sein. Wenn die einzelnen Metallisierungen soweit wie möglich in die Nähe der Seitenkanten des Piezoaktors verlegt werden, kann die weiter oben bereits skizzierte Gefahr von Kurzschlußbrücken zwischen dem freien Endabschnitt der Weiterkontaktierung und der Aktoroberfläche gering gehalten werden.

[0020] In weiterer Ausgestaltung kann die Metallisierung als wenigstens ein Metallisierungspunkt oder als Metallisierungslinie aufgebracht sein. Die Erfindung ist nicht auf bestimmte Designs der Metallisierungen beschränkt. Wichtig ist lediglich, daß die Metallisierungen so kurz wie möglich gehalten werden, um die weiter oben beschriebenen, nachteiligen Effekte zu vermeiden.

[0021] Darüber hinaus ist die Erfindung nicht auf eine bestimmte Anzahl von Metallisierungen pro Elektroden-schicht beschränkt. Grundsätzlich ist wenigstens eine Metallisierung pro Elektroden-schicht vorgesehen. Es sind jedoch auch Ausgestaltungsvarianten des Piezoaktors denkbar, bei denen mehr als eine Metallisierung pro Elektroden-schicht vorgesehen ist.

[0022] Wenn der Stapel eine eckige Konfiguration aufweist, kann vorteilhaft jede Metallisierung der wenigstens einen ersten Elektroden-schicht und der wenigstens einen zweiten Elektroden-schicht mit unterschiedlicher Polarität auf ein und derselben Seite des Stapels aufgebracht sein. Dies führt zu einer Reihe von Vorteilen im Zusammenhang mit der Herstellung eines solchen Piezoaktors. Beispielsweise vereinfachen sich eine Reihe von Prozessschritten erheblich, was nicht zuletzt auch zu deutlichen Kostenvorteilen führt. So kann beispielsweise der Schleifvorgang im Bereich der Kontaktierungszonen, insbesondere bei Verwendung von As-Fired-Oberflächen, vereinfacht werden. Ebenso wird das Aufbringen der Metallisierungen sowie das Aufbringen der Weiterkontaktierungen sowie deren Verbindung mit den Metallisierungen wesentlich vereinfacht. Dies wird unter anderem im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren weiter unten näher erläutert.

[0023] Weiterhin lassen sich bei Verwendung dieser vorteilhaften Anbringung der Weiterkontaktierungen am Piezoaktor neue Weiterkontaktierungsdesigns realisieren, mit beispielsweise alternativer Anordnung von Kontaktierelementen, größeren freien Längen der Weiterkontaktierungen, was zu geringeren zyklischen Materialbelastungen führt, und dergleichen.

[0024] Vorzugsweise kann jede Weiterkontaktierung, die mit einer Metallisierung einer Elektroden-schicht gleicher Polarität verbunden ist und die mit einem freien Endabschnitt über den Stapel hinausragt, über den Endabschnitt mit einem gemeinsamen Anschlußelement mechanisch und elektrisch verbunden sein. Dabei kann die mechanische und elektrische Verbindung zwischen den Metallisierungen und den Anschlußelementen je nach den Gegebenheiten unterschiedlich vorgenommen werden. Die zuvor beschriebene Ausführung ist besonders gut zum Auffangen mechanischer Spannungen geeignet.

[0025] Vorteilhaft kann das Anschlußelement als, vorzugsweise vertikaler, Anschlußstift ausgebildet sein. Die Weiterkontaktierungen können beispielsweise in Form von Drähten vorliegen.

[0026] Vorzugsweise kann das Verbindungsmittel als Lötverbindung oder Schweißverbindung ausgebildet sein. Wenn die Weiterkontaktierung mittels einer Lötverbindung an der Metallisierung befestigt wird, kann dieser Lötprozeß beispielsweise, jedoch nicht ausschließlich, mittels einer Bügellötanlage, einer Laserlötanlage oder dergleichen durchgeführt werden. Selbstverständlich sind auch andere Verbindungsarten zwischen der Weiterkontaktierung und der Metallisierung möglich. Die Auswahl der geeigneten Verbindungsart und damit des geeigneten Verbindungsmittels ergibt sich aus der Auswahl der jeweiligen Materialien für die Weiterkontaktierung und die Metallisierung.

[0027] Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zum Herstellen eines Piezoaktors in Vielschichtbauweise bereitgestellt, bei dem alternierend immer eine piezoelektrische Keramikschicht und eine Elektroden-schicht zur Bildung eines Stapels übereinander angeordnet ist, bei dem jeweils wenigstens eine erste Elektroden-schicht und wenigstens eine im Stapel darauffolgende, zur ersten Elektroden-schicht benachbarte zweite Elektroden-schicht zur elektrischen Kontaktierung in alternierender Polarität jeweils mit zumindest einer seitlich am Stapel aufgetragenen Metallisierung verbunden ist, wobei jede Metallisierung wiederum elektrisch leitend über wenigstens ein Verbindungsmittel mit einer Weiterkontaktierung verbunden ist, bei dem sich jede Elektroden-schicht zumindest bereichsweise bis zu einer seitlichen Oberfläche des Stapels erstreckt und bei dem dort für jede Elektroden-schicht separat eine Metallisierung aufgebracht ist. Das Verfahren zur Herstellung eines solchen Piezoaktors ist erfindungsgemäß durch folgende Schritte gekennzeichnet:

- a) Herstellen eines Keramikschicht-Elektroden-schicht-Stapels;
- b) Erfassen der Lage jeder einzelnen Elektroden-schicht mittels eines Lage-Erfassungsverfahrens;
- c) Aufbringen von wenigstens einer Metallisierung auf eine ihr zugeordnete Elektroden-schicht auf Grund der erfaßten Lagewerte; und
- d) Aufbringen von wenigstens einer Weiterkontaktierung auf die wenigstens eine Metallisierung.

[0028] Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird es auf einfache und kostengünstige Weise möglich, eine optimale, isolationszonenfreie Kontaktierung der einzelnen Elektroden-schichten des Piezoaktors zu erreichen.

[0029] Ein Grundgedanke des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß vor dem Aufbringen der einzelnen Metallisierungen zunächst die Lage von jeder einzelnen Elektroden-schicht mittels eines geeigneten Lage-Erfassungsverfahrens erfaßt wird. Beispiele für solche Verfahren werden im weiteren Verlauf der Beschreibung näher erläutert. Bei Durchführung des Lage-Erfassungsverfahrens wird die genaue Lage jeder einzelnen Elektroden-schicht bestimmt. Auf Grund der erfaßten Lagewerte werden anschließend die Metallisierungen auf die ihnen jeweils zugeordneten Elektroden-schichten aufgebracht. Die Auswertung der erfaßten Lagedaten kann vorteilhaft mittels geeigneter Computerprogramme oder Software durchgeführt beziehungsweise unterstützt werden.

[0030] Das erfindungsgemäße Verfahren weist eine Reihe von Vorteilen auf. Für die Aufbringung der Metallisierungen ist üblicherweise eine sehr geringe Variation der keramischen Einzelschichtdicken (beispielsweise PZT-Einzelschichtdicken) zwingende Voraussetzung. Bisher wurden Piezoaktoren beispielsweise mittels eines Siebdruckverfahrens hergestellt. Die erforderliche geringe Variation der Einzelschichtdicken zusammen mit den gegebenen prinzipiellen

Genauigkeitsgrenzen des Siebdruckverfahrens führte in der Praxis dazu, daß Vielschichtstrukturen mit Einzelschichtdicken von < 200 µm nicht mehr auf diese Weise kontaktiert werden konnten.

[0031] Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird es nunmehr auch möglich, Vielschichtstrukturen mit Einzelschichtdicken von weniger als 200 µm problemlos kontaktieren zu können, da die Lage jeder einzelnen Elektroden-schicht genau erfaßt werden kann und damit ein zielgenaues Aufbringen der Metallisierungen ermöglicht wird.

[0032] Vorteilhaft kann der Stapel eine eckige Konfiguration aufweisen, so daß jede Metallisierung von jeder ersten Elektroden-schicht und jede Metallisierung von jeder zweiten Elektroden-schicht mit unterschiedlicher Polarität vorteilhaft auf ein und derselben Seite des Stapels aufgebracht wird.

[0033] In weiterer Ausgestaltung kann jede Weiterkontaktierung, die mit einer Metallisierung einer Elektroden-schicht gleicher Polarität verbunden ist, nach der Verbindung mit einem freien Ende über den Stapel hinausragen, wobei jede Weiterkontaktierung über ihren freien Endabschnitt mit einem gemeinsamen Anschlußelement, beispielsweise einem entsprechend ausgestalteten Anschlußstift, verbunden wird.

[0034] Vorzugsweise kann die Weiterkontaktierung mittels eines, wie weiter oben bereits beschriebenen, Lötverfahrens, Schweißverfahrens oder dergleichen auf der Metallisierung aufgebracht werden. Bei der sich daraus ergebenden Verbindung handelt es sich dann um das im Rahmen des erfindungsgemäßen Piezoaktors genannte Verbindungsmittel.

[0035] Das Aufbringen der wenigstens einen Metallisierung auf eine ihr zugeordnete Elektroden-schicht kann auf verschiedene Weise erfolgen, so daß die Erfindung nicht auf bestimmte Ausgestaltungsformen beschränkt ist. Nachfolgend werden einige nicht ausschließliche Beispiele beschrieben, wie ein solches Aufbringen von Metallisierung erfolgen kann.

[0036] Beispielsweise kann die Metallisierung in dem weiter oben beschriebenen Verfahrensschritt c) in Form einer Metallisierungspaste mittels eines Mikrodispensers auf der ihr zugeordneten Elektroden-schicht aufgebracht werden. Dabei ist vorteilhaft vorgesehen, daß die Lage der Elektroden-schichten zunächst erfaßt wird und daß anschließend die Paste, beispielsweise eine Dickschichtmetallisierungspaste, mittels des Mikrodispensers auf den jeweiligen Elektroden-schichten aufgebracht wird.

[0037] Gemäß einer anderen Ausführungsform kann vor Ausführung des weiter oben beschriebenen Verfahrensschritts b) zunächst Metallisierungsmaterial vollflächig auf demjenigen Bereich des Stapels aufgebracht werden, indem die Kontaktierung mit der wenigstens einen Weiterkontaktierung erfolgen soll, wobei nach Durchführung des oben beschriebenen Verfahrensschritts b) eine Strukturierung jeder einzelnen Metallisierung durchgeführt wird. In diesem Fall wird Metallisierungsmaterial zunächst vollständig auf der Oberfläche des Piezoaktors aufgebracht, was beispielsweise mittels eines Sputterverfahrens, eines Bedampfungsverfahrens oder dergleichen erfolgen kann. Weiterhin wird die Lage jeder Elektroden-schicht genau erfaßt, was vor, nach oder auch während des Aufbringens des Metallisierungsmaterials erfolgen kann. Anschließend werden die einzelnen Metallisierungen strukturiert, was beispielsweise mittels Lasertrennung oder dergleichen erfolgen kann.

[0038] In anderer Ausgestaltung kann jede Metallisierung zunächst photolithographisch strukturiert werden, wobei jede Metallisierung anschließend durch ein Belichtungsverfahren fertiggestellt wird. In diesem Fall kann zunächst die photolithographische Strukturierung jeder einzelnen Metallisierung zusammen mit der Erfassung der Lage der Elektro-

denschichten erfolgen. Anschließend kann jede Metallisierung durch das Belichtungsverfahren fertiggestellt werden, beispielsweise durch Belichtung des bei der photolithographischen Strukturierung entstehenden Photoresists mittels Laser oder dergleichen.

[0039] Gemäß einer anderen Ausgestaltungsvariante ist es beispielsweise denkbar, daß derjenige Bereich des Stapels, in dem die Kontaktierung mit der wenigstens einen Weiterkontaktierung erfolgen soll, zunächst strukturiert aktiviert wird und daß anschließend jede Metallisierung entsprechend der erzeugten Struktur aufgebracht wird. Die strukturierte Aktivierung der Oberfläche kann beispielsweise mittels Laser erfolgen, so daß anschließend eine stromlose Abscheidung der Metallisierungen möglich wird.

[0040] Da durch das erfindungsgemäße Verfahren nunmehr auch Vielschichtstrukturen mit Einzelschichtdicken von < 200 µm kontaktiert werden können, ist es für die genaue Platzierung der Weiterkontaktierungen auf den Metallisierungen ebenfalls erforderlich, geeignete Lösungsansätze zu schaffen, die gegenüber der bisher verwendeten Positionierung von Weiterkontaktierungen mit äquidistanten Abständen eine Variation der Lage der einzelnen Weiterkontaktierungen ermöglichen. Einige nicht ausschließliche Beispiele, wie Weiterkontaktierungen vorteilhaft auf den Metallisierungen aufgebracht, beziehungsweise mit diesen verbunden werden können, werden im weiteren Verlauf der Beschreibung näher erläutert.

[0041] Beispielsweise ist es möglich, daß zum Aufbringen der wenigstens einen Weiterkontaktierung auf die wenigstens eine Metallisierung jede Weiterkontaktierung einer Elektrodenschicht gleicher Polarität in Form einer Weiterkontaktierungsharfe über den Stapel gelegt wird, daß jede Weiterkontaktierung anschließend über der ihr zugeordneten wenigstens einen Metallisierung justiert wird, wobei die Lage jeder Metallisierung mittels eines Lage-Erfassungsverfahrens erfaßt wird und daß schließlich jede Weiterkontaktierung über ein Verbindungsmittel mit der wenigstens einen Metallisierung verbunden wird. Jede Weiterkontaktierung kann dabei vorteilhaft drahtförmig ausgebildet sein. Als Harfe wird dabei allgemein jede Konfiguration verstanden, bei der eine Anzahl von Weiterkontaktierungen mit einem gemeinsamen Anschlußelement verbunden sind, wobei es sich bei einem solchen Anschlußelement beispielsweise um einen Anschlußstift oder dergleichen handeln kann. Dabei ist die Ausrichtung der Weiterkontaktierungen sowie des Anschlußelements vorteilhaft so gewählt, daß das Anschlußelement zumindest im wesentlichen senkrecht zu den Weiterkontaktierungen ausgerichtet ist.

[0042] Bei der genannten Ausgestaltungsform wird die Weiterkontaktierungsharfe zunächst über den zu kontaktierenden Stapel gelegt. Die Abstände der einzelnen Weiterkontaktierungen, die beispielsweise in Form von Einzeldrähten vorliegen, können dabei durch eingelegte Kämme, je nach Bedarf mit veränderbaren Zinkenbreiten, durch die Weiterkontaktierungen bewegendende Präzisionsstellelemente, die beispielsweise in Form elektromagnetischer Aktoren, piezoelektrischer Biegewandler oder dergleichen ausgestaltet sein können, und dergleichen, lagerichtig justiert werden. Da ebenfalls die Lage jeder Metallisierung mittels eines Lage-Erfassungsverfahrens erfaßt wird, kann anschließend jede Weiterkontaktierung über ein geeignetes Verbindungsmittel mit der ihr zugeordneten wenigstens einen Metallisierung verbunden werden.

[0043] In anderer Ausgestaltung kann zum Aufbringen der wenigstens einen Weiterkontaktierung auf die wenigstens eine Metallisierung eine Metallisierungsmenge dicht an dicht über denjenigen Bereich des Stapels gelegt werden, indem die Kontaktierung mit der wenigstens einen Weiter-

kontaktierung erfolgen soll. Anschließend wird die Lage jeder Metallisierung mittels eines Lage-Erfassungsverfahrens erfaßt. Dann wird jede Weiterkontaktierung, die nicht auf einer Metallisierung zu liegen kommt, von der Oberfläche des Stapels entfernt. Schließlich wird jede Weiterkontaktierung über ein Verbindungsmittel mit jeder Metallisierung, mit der sich diese in Kontakt befindet, verbunden.

[0044] Bei dieser Ausgestaltungsvariante wird also über den zu kontaktierenden Stapel zunächst eine Anzahl von Weiterkontaktierungen, beispielsweise in Form von Kontaktierungsdrähten, dicht an dicht gelegt. Nach der Erfassung der Lage der Metallisierungen werden diejenigen Weiterkontaktierungen, die nicht auf einer Metallisierung zu liegen kommen, von der Oberfläche des Stapels entfernt. Dies kann beispielsweise dadurch realisiert werden, daß die nicht benötigten Weiterkontaktierungen durch Stellelemente von der Oberfläche des Stapels entweder abgehoben oder völlig entfernt werden. Anschließend werden die restlichen, mit den Metallisierungen in direktem Kontakt stehenden Weiterkontaktierungen über geeignete Verbindungsmittel mit diesen verbunden.

[0045] In anderer Ausgestaltung kann zum Aufbringen der wenigstens einen Weiterkontaktierung auf die wenigstens eine Metallisierung zunächst die Lage jeder Metallisierung mittels eines Lage-Erfassungsverfahrens erfaßt werden, wobei anschließend jeder Metallisierung eine Weiterkontaktierung einzeln zugeführt und diese mit der Metallisierung über ein Verbindungsmittel verbunden wird. Bei dieser Ausführungsform wird zunächst die Lage jeder Metallisierung mittels des Lage-Erfassungsverfahrens erfaßt. Anschließend werden die Weiterkontaktierungen, beispielsweise einzeln, auf jede Metallisierung zugeführt und mit dieser verbunden. Ein solches Verfahren kann beispielsweise analog zum "Bonden" von Halbleiterbauelementen mit Au- oder Al-Drähten erfolgen.

[0046] Vorteilhaft kann die Lage der wenigstens einen Elektrodenschicht und/oder der wenigstens einen Metallisierung über ein optisches Verfahren und/oder mittels Meßtastern über die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit erfaßt werden. Selbstverständlich sind auch andere Erfassungsverfahren denkbar, so daß die Erfindung nicht auf die beiden beschriebenen Beispiele beschränkt ist.

[0047] Besonders vorteilhaft kann ein wie vorstehend beschriebenes erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung eines wie vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Piezoaktors verwendet werden.

[0048] Die vorliegende Erfindung zeigt im Zusammenhang mit dem Piezoaktor eine Reihe von vorteilhaften Designmöglichkeiten sowie im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren eine Reihe von vorteilhaften Prozeßmöglichkeiten auf, die zu einer wesentlichen Verbesserung der Eigenschaften des Piezoaktors bei gleichzeitigen relevanten Kostenvorteilen führen.

[0049] Die Erfindung wird nun an Hand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

[0050] Fig. 1 einen Piezoaktor gemäß dem Stand der Technik mit Isolationszonen; und

[0051] Fig. 2 einen erfindungsgemäßen Piezoaktor.

[0052] In Fig. 1 ist zunächst ein aus dem Stand der Technik bekannter Piezoaktor 10 in Vielschichtbauweise dargestellt, der einen aus zahlreichen piezoelektrischen Keramikschichten 11 und Elektrodenschichten 12, 13 aufgebauten Stapel 17 bildet. Die Elektrodenschichten 12 und 13 haben dabei jeweils unterschiedliche Polarität, wobei jeweils Elektrodenschichten gleicher Polarität mit einer Weiterkontaktierung 15 verbunden sind. Erkennbar sind weiterhin die inaktiven Isolationszonen 14, die abwechselnd in gegenüber-

liegenden Ecken der aufeinanderfolgenden, sich in diesem Fall nicht über den gesamten Stapelquerschnitt erstreckenden Elektrodenschichten 12, 13 angeordnet sind. Dieser Aufbau ermöglicht den gemeinsamen Anschluß aller Elektrodenschichten 12, beziehungsweise aller Elektrodenschichten 13, mit jeweils gleicher Polarität durch eine gemeinsame, vertikale Weiterkontaktierung 15, beispielsweise ein entsprechendes Metallisierungsband, das gegebenenfalls durch weitere, seitlich überstehende Kontaktfahnen 16 weiterkontaktierbar ist. Der in Fig. 1 dargestellte, aus dem Stand der Technik bekannte Piezoaktor weist jedoch die im Rahmen der Beschreibungseinleitung genannten Nachteile auf.

[0053] Um diese Nachteile zu vermeiden und um insbesondere eine Optimierung einer isolationsfreien Kontaktierung von Piezoaktoren zu ermöglichen, wird ein Piezoaktor 10 in Vielschichtbauweise vorgeschlagen, wie er in Fig. 2 dargestellt ist. Der Piezoaktor 10 gemäß Fig. 2 ist wiederum in Vielschichtbauweise ausgestaltet, wobei alternierend immer eine piezoelektrische Keramikschicht 11 und eine Elektrodenschicht 12, 13 zur Bildung eines Stapels 17 übereinander angeordnet ist. Die Elektrodenschichten 12, 13 sind jeweils in erste Elektrodenschichten 12 und zweite Elektrodenschichten 13 unterteilt, wobei jeweils erste Elektrodenschichten 12 und zweite Elektrodenschichten 13 die gleiche Polarität aufweisen. Wenigstens eine erste Elektrodenschicht 12 und wenigstens eine im Stapel 17 darauffolgende, zur ersten Elektrodenschicht 12 benachbarte zweite Elektrodenschicht 13, ist zur elektrischen Kontaktierung in alternierender Polarität jeweils mit zumindest einer seitlich am Stapel 17 aufgetragenen Metallisierung 20, 21 verbunden. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind die Elektrodenschichten 12 mit Metallisierungen 20 und die Elektrodenschichten 13 mit Metallisierungen 21 verbunden.

[0054] Jede der Metallisierungen 20, 21 ist wiederum elektrisch leitend über wenigstens ein Verbindungsmittel, das im vorliegenden Ausführungsbeispiel als Lötverbindung ausgebildet ist, mit einer Weiterkontaktierung 22, 24 verbunden. Dabei sind die Metallisierungen 20 mit den Weiterkontaktierungen 22 und die Metallisierungen 21 mit den Weiterkontaktierungen 24 verbunden. Jede Weiterkontaktierung 22, 24 verfügt jeweils über einen freien Endabschnitt 23, 25, der über den Stapel 17 hinausragt. Die einzelnen Weiterkontaktierungen 22, 24 sind über ihre freien Endabschnitte 23, 25 jeweils mit einem gemeinsamen Anschlußelement 26, 27, im vorliegenden Beispiel einem zu den Weiterkontaktierungen 22, 24 vertikalen Anschlußstift, verbunden.

[0055] Die einzelnen Elektrodenschichten 12, 13 erstrecken sich im Gegensatz zu dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel isolationszonenfrei über den gesamten Stapelquerschnitt bis zu jeder seitlichen Oberfläche des Stapels 17, wobei dort für jede Elektrodenschicht 12, 13 separat eine Metallisierung 20, 21 aufgebracht ist.

[0056] Um nun eine optimale Kontaktierung der Elektrodenschichten 12, 13 mit den Weiterkontaktierungen 22, 24 zu erreichen, ist zunächst vorgesehen, daß jede Metallisierung 20, 21 im Vergleich zu der ihr zugeordneten Elektrodenschicht 12, 13 kurz ausgebildet ist, so daß nur ein Teilbereich der Elektrodenschicht 12, 13 mit der Metallisierung 20, 21 verbunden ist. Auf diese Weise wird verhindert, daß in der Praxis auftretende Parallelitätsabweichungen der einzelnen Strukturen zueinander nicht zu elektrischen Versagen des Piezoaktors 10 führen können.

[0057] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel weist der Stapel 17 des Piezoaktors 10 einen viereckigen Querschnitt auf. Dabei sind alle Metallisierungen 20, 21 in einem Bereich des Stapels 17 vorgesehen, in dem der freie Endab-

schnitt 23, 25 der Weiterkontaktierung 23, 24 über den Stapel 17 hinausragt. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind die einzelnen Metallisierungen 20, 21 somit soweit wie möglich in die Nähe der Seitenkanten 28, 29 des Piezoaktorstapels 17 verlegt, wodurch die Gefahr von Kurzschlußbrücken zwischen den freien Endabschnitten 23, 25 der Weiterkontaktierungen 22, 24 und der Oberfläche des Piezoaktors 10 gering gehalten werden kann.

[0058] Darüber hinaus ist jede Metallisierung 20, 21 in bezug auf die ihr zugeordnete Elektrodenschicht 12, 13 zumindest im wesentlichen parallel zu dieser ausgerichtet. Dadurch können Kurzschlüsse zu den benachbarten, entgegengesetzt geladenen Elektrodenschichten vermieden werden.

[0059] Bei den in Fig. 2 dargestellten Piezoaktor 10 ist weiterhin vorgesehen, daß alle Metallisierungen 20, 21 der ersten Elektrodenschichten 12 sowie der zweiten Elektrodenschichten 13 mit unterschiedlicher Polarität auf ein und derselben Seite 30 des Stapels 17 aufgebracht sind. Dadurch läßt sich die Herstellung des Piezoaktors wesentlich vereinfachen, was unter anderem zu deutlichen Kostenvorteilen führt.

[0060] Die Verbindung der einzelnen Metallisierungen 20, 21 mit den Weiterkontaktierungen 22, 24 kann über eine geeignete Lötverbindung, Schweißverbindung oder dergleichen erfolgen. Die Zuverlässigkeit einer solchen Verbindung zwischen Weiterkontaktierung 22, 24 und Metallisierung 20, 21 bleibt auch bei der erfindungsgemäßen Ausgestaltung des Piezoaktors 10 unbeeinträchtigt, da die bei Auslenkung des Piezoaktors auftretende Biegung der Weiterkontaktierung 22, 24 zu Zug- und Scherspannungen vor allem im Einmündungsbereich der Weiterkontaktierung 22, 24 in die Verbindung Weiterkontaktierung-Metallisierung, beispielsweise eine entsprechende Lötstelle, führt. Die gleichzeitig bei Auslenkung des Piezoaktors 10 auftretende direkte Zugdehnung der Weiterkontaktierung 22, 24 dagegen ist sehr gering, so daß die in die Verbindungsmittel zwischen Metallisierung und Weiterkontaktierung eingebrachten Zug- und Scherspannungen auch von kleinflächigen Kontaktierungspunkten sicher verkraftet werden können.

[0061] Der in Fig. 2 dargestellte Piezoaktor 10 kann besonders vorteilhaft mittels eines erfindungsgemäßen und im Rahmen der allgemeinen Beschreibung detailliert erläuterten Herstellungsverfahrens hergestellt werden. Die erfindungsgemäßen Designmöglichkeiten des Piezoaktors 10 sowie die erfindungsgemäßen Prozeßmöglichkeiten bei dessen Herstellung führen zu einer wesentlichen Verbesserung der Bauteileigenschaften bei gleichzeitig relevanten Kostenvorteilen.

Patentansprüche

1. Piezoaktor in Vielschichtbauweise, bei dem alternierend immer eine piezoelektrische Keramikschicht (11) und eine Elektrodenschicht (12, 13) zur Bildung eines Stapels (17) übereinander angeordnet ist, bei dem jeweils wenigstens eine erste Elektrodenschicht (12) und wenigstens eine im Stapel (17) darauffolgende, zur ersten Elektrodenschicht (12) benachbarte zweite Elektrodenschicht (13) zur elektrischen Kontaktierung in alternierender Polarität jeweils mit zumindest einer seitlich am Stapel (17) aufgetragenen Metallisierung (20, 21) verbunden ist, wobei jede Metallisierung (20, 21) wiederum elektrisch leitend über wenigstens ein Verbindungsmittel mit einer Weiterkontaktierung (22, 24), die mit einem freien Endabschnitt (23, 25) über den Stapel (17) hinausragt, verbunden ist, bei dem sich jede Elektrodenschicht (12, 13) isolationszonenfrei über den gesamten Stapelquerschnitt bis zu jeder seitlich-

chen Oberfläche des Stapels (17) erstreckt und bei dem dort für jede Elektrodenschicht (12, 13) separat eine Metallisierung (20, 21) aufgebracht ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß jede Metallisierung (20, 21) im Vergleich zu der ihr zugeordneten Elektrodenschicht (12, 13) kurz ausgebildet ist, so daß nur ein Teilbereich der Elektrodenschicht (12, 13) mit der Metallisierung (20, 21) verbunden ist, daß jede Metallisierung (20, 21) in einem Bereich des Stapels (17) vorgesehen ist, in dem der freie Endabschnitt (23, 25) der Weiterkontaktierung (22, 24) über den Stapel (17) hinausragt und daß jede Metallisierung (20, 21) in bezug auf die ihr zugeordnete Elektrodenschicht (12, 13) zumindest im wesentlichen parallel zu dieser ausgerichtet ist.

2. Piezoaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Verbindungsmittel gleich groß oder kleiner als die Metallisierung (20, 21) ausgebildet ist.

3. Piezoaktor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Stapel (17) eine eckige Konfiguration aufweist und daß jede Metallisierung (20, 21) im Bereich einer Seitenkante (28, 29) des Stapels (17) vorgesehen ist.

4. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Metallisierung (20, 21) als wenigstens ein Metallisierungspunkt oder als Metallisierungslinie aufgebracht ist.

5. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Stapel eine eckige Konfiguration aufweist und daß jede Metallisierung (20, 21) der wenigstens einen ersten Elektrodenschicht (12) und der wenigstens einen zweiten Elektrodenschicht (13) mit unterschiedlicher Polarität auf ein und derselben Seite (30) des Stapels (17) aufgebracht ist.

6. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß jede weitere Kontaktierung (22; 24), die mit einer Metallisierung (20; 21) einer Elektrodenschicht (12; 13) gleicher Polarität verbunden ist und die mit einem freien Endabschnitt (23; 25) über den Stapel (17) hinausragt, über den Endabschnitt (23; 25) mit einem gemeinsamen Anschlußelement (26; 27) mechanisch und elektrisch verbunden ist.

7. Piezoaktor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Anschlußelement (26, 27) als Anschlußstift ausgebildet ist.

8. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Verbindungsmittel als Lötverbindung oder Schweißverbindung ausgebildet ist.

9. Verfahren zum Herstellen eines Piezoaktors in Vielschichtbauweise, bei dem alternierend immer eine piezoelektrische Keramikschicht und eine Elektrodenschicht zur Bildung eines Stapels übereinander angeordnet ist, bei dem jeweils wenigstens eine erste Elektrodenschicht und wenigstens eine im Stapel darauffolgende, zur ersten Elektrodenschicht benachbarte zweite Elektrodenschicht zur elektrischen Kontaktierung in alternierender Polarität jeweils mit zumindest einer seitlich am Stapel aufgetragenen Metallisierung verbunden ist, wobei jede Metallisierung wiederum elektrisch leitend über wenigstens ein Verbindungsmittel mit einer Weiterkontaktierung verbunden ist, bei dem sich jede Elektrodenschicht zumindest bereichsweise bis zu einer seitlichen Oberfläche des Stapels erstreckt und bei dem dort für jede Elektrodenschicht separat eine Metallisierung aufgebracht ist, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- a) Herstellen eines Keramikschicht-Elektrodenschicht-Stapels;

- b) Erfassen der Lage jeder einzelnen Elektrodenschicht mittels eines Lage-Erfassungsverfahrens;
 - c) Aufbringen von wenigstens einer Metallisierung auf eine ihr zugeordnete Elektrodenschicht auf Grund der erfaßten Lagewerte; und
 - d) Aufbringen von wenigstens einer Weiterkontaktierung auf die wenigstens eine Metallisierung.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Stapel eine eckige Konfiguration aufweist und daß jede Metallisierung von jeder ersten Elektrodenschicht und jede Metallisierung von jeder zweiten Elektrodenschicht mit unterschiedlicher Polarität auf ein und derselben Seite des Stapels aufgebracht wird.
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß jede Weiterkontaktierung, die mit einer Metallisierung einer Elektrodenschicht gleicher Polarität verbunden ist, nach der Verbindung mit einem freien Ende über den Stapel hinausragt und daß jede Weiterkontaktierung über den freien Endabschnitt mit einem gemeinsamen Anschlußelement verbunden wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Weiterkontaktierung mittels eines Lötverfahrens oder Schweißverfahrens auf der Metallisierung aufgebracht wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Metallisierung in Schritt c) in Form einer Metallisierungspaste mittels eines Mikrodispensers auf der ihr zugeordneten Elektrodenschicht aufgebracht wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß vor Schritt b) Metallisierungsmaterial zunächst vollständig auf den Bereich des Stapels aufgebracht wird, in dem die Kontaktierung mit der wenigstens einen Weiterkontaktierung erfolgen soll, und daß nach Schritt b) eine Strukturierung jeder einzelnen Metallisierung durchgeführt wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß jede Metallisierung zunächst photolithographisch strukturiert wird und daß jede Metallisierung anschließend durch ein Belichtungsverfahren fertiggestellt wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß derjenige Bereich des Stapels, in dem die Kontaktierung mit der wenigstens einen Weiterkontaktierung erfolgen soll, zunächst strukturiert aktiviert wird und daß anschließend jede Metallisierung entsprechend der erzeugten Struktur aufgebracht wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß vor der Durchführung von Schritt d) die Lage jeder Metallisierung mittels eines Lage-Erfassungsverfahrens erfaßt wird.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß zum Aufbringen der wenigstens einen Weiterkontaktierung auf die wenigstens eine Metallisierung jede Weiterkontaktierung einer Elektrodenschicht gleicher Polarität in Form einer Weiterkontaktierungsharfe über den Stapel gelegt wird, daß jede Weiterkontaktierung anschließend über der ihr zugeordneten wenigstens einen Metallisierung justiert wird, wobei die Lage jeder Metallisierung mittels eines Lage-Erfassungsverfahrens erfaßt wird und daß schließlich jede Weiterkontaktierung über ein Verbindungsmittel mit der wenigstens einen Metallisierung verbunden wird.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß zum Aufbringen der wenig-

stens einen Weiterkontaktierung auf die wenigstens eine Metallisierung eine Metallisierungsmenge dicht an dicht über denjenigen Bereich des Stapels gelegt wird, in dem die Kontaktierung mit der wenigstens einen Weiterkontaktierung erfolgen soll, daß anschließend die Lage jeder Metallisierung mittels eines Lage-Erfassungsverfahrens erfaßt wird, daß dann jede Weiterkontaktierung, die nicht auf einer Metallisierung zu liegen kommt, von der Oberfläche des Stapels entfernt wird und daß schließlich jede Weiterkontaktierung über ein Verbindungsmittel mit jeder Metallisierung, mit der sich diese in Kontakt befindet, verbunden wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß zum Aufbringen der wenigstens einen Weiterkontaktierung auf die wenigstens eine Metallisierung zunächst die Lage jeder Metallisierung mittels eines Lage-Erfassungsverfahrens erfaßt wird und daß anschließend jeder Metallisierung eine Weiterkontaktierung einzeln zugeführt und diese mit der Metallisierung über ein Verbindungsmittel verbunden wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage der wenigstens einen Elektrodenschicht und/oder der wenigstens einen Metallisierung über ein optisches Verfahren und/oder mittels Meßtastern über die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit erfaßt wird.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 21 zur Herstellung eines Piezoaktors nach einem der Ansprüche 1 bis 8.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65

FIG 1

Stand der Technik

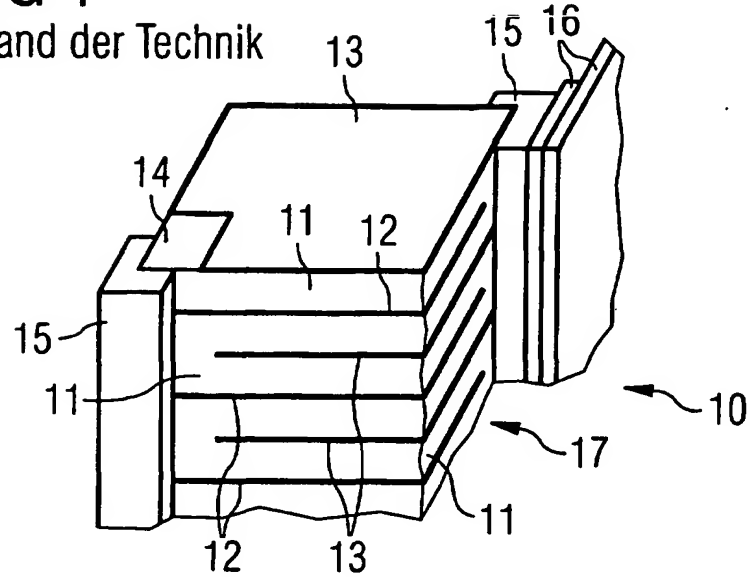


FIG 2

